

#2/1PD  
Asosane  
2/5/02

Attorney Docket No. 826.1768

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

JC973 U.S. PTO  
09/986027  
11/07/01

In re Patent Application of:

Yoichi OIKAWA

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: November 7, 2001

Examiner:

For: OPTICAL SWITCH FOR COMPENSATING FOR DEGRADATION OF OPTICAL-  
COUPLING CHARACTERISTIC

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)  
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2001-211208

Filed: July 11, 2001

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing  
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the  
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: November 7, 2001

By: \_\_\_\_\_

James D. Halsey, Jr.  
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500  
Washington, D.C. 20001  
(202) 434-1500

PATANT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: July 11, 2001

Application Number: Patent Application  
No. 2001-211208

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

August 31, 2001

Commissioner,  
Patent Office Kozo OIKAWA

Certificate No. 2001-3078566

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載  
している事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2001年 7月11日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2001-211208

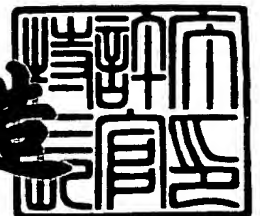
出 願 人  
Applicant(s):

富士通株式会社

2001年 8月31日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3078566

【書類名】 特許願

【整理番号】 0150375

【提出日】 平成13年 7月11日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/08  
G02F 1/29

【発明の名称】 光スイッチ

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

【氏名】 及川 陽一

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100074099

【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F

【弁理士】

【氏名又は名称】 大菅 義之

【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾7-25-28-503

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-573-3683

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 印加電圧に応じて傾き角度が変化するミラーと、  
前記ミラーに前記印加電圧を印加するドライバ手段と、  
所定周波数の付加信号を発生する発振手段と、  
前記印加電圧に前記付加信号を重畳する重畳手段と、  
前記ミラーで反射された光から前記所定周波数の信号成分を検出する検出手段と、  
検出された信号成分に基づいて前記印加電圧を制御する制御手段と  
を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2】 前記印加電圧に関する情報と前記光スイッチの光結合効率に関する情報のうち少なくとも一方を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶された情報を所定の通知先に通知する通知手段とをさらに備えることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 3】 前記発振手段は、前記ミラーの機械的共振周波数より高い周波数の付加信号を発生することを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 4】 第 1 の印加電圧に応じて第 1 の方向の傾き角度が変化し、第 2 の印加電圧に応じて第 2 の方向の傾き角度が変化するミラーと、  
前記ミラーに前記第 1 の印加電圧を印加する第 1 のドライバ手段と、  
前記ミラーに前記第 2 の印加電圧を印加する第 2 のドライバ手段と、  
第 1 の周波数の第 1 の付加信号を発生する第 1 の発振手段と、  
第 2 の周波数の第 2 の付加信号を発生する第 2 の発振手段と、  
前記第 1 の印加電圧に前記第 1 の付加信号を重畳する第 1 の重畳手段と、  
前記第 2 の印加電圧に前記第 2 の付加信号を重畳する第 2 の重畳手段と、  
前記ミラーで反射された光から前記第 1 および第 2 の周波数の信号成分を検出する検出手段と、  
検出された第 1 の周波数の信号成分に基づいて前記第 1 の印加電圧を制御する第 1 の制御手段と、

検出された第 2 の周波数の信号成分に基づいて前記第 2 の印加電圧を制御する  
第 2 の制御手段と

を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 5】 印加電圧に応じて傾き角度が変化するミラーを有する光スイッチのための制御装置であって、

前記ミラーに前記印加電圧を印加するドライバ手段と、

所定周波数の付加信号を発生する発振手段と、

前記印加電圧に前記付加信号を重畳する重畳手段と、

前記ミラーで反射された光から前記所定周波数の信号成分を検出する検出手段と、

検出された信号成分に基づいて前記印加電圧を制御する制御手段と  
を備えることを特徴とする制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フォトリックネットワークを構成するノード装置における光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】

光波長多重伝送 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) システムは、伝送容量を飛躍的に増大できる通信システムとして、開発および実用化が進められている。WDM システム同士を接続し、広大なフォトリックネットワークを構築するために、各装置間をループ状に接続するリング型ネットワークが検討されている。このネットワークでは、ネットワークの規模が大きくなると、ループ内での伝送データ量が膨大になることから、メッシュ状に接続するメッシュ型ネットワークも精力的に検討されている。

【0003】

このようなネットワーク構築のキーテクノロジーは、多数の入出力ファイバをスイッチングできる大規模な光スイッチである。リング型ネットワークや point-

to-pointのシステムにおいては、ノード内での低次群の信号を取り出す際に、電気スイッチが用いられている。これを光スイッチに置き換えることにより、このノード内のコストを削減することができる。したがって、大規模光スイッチの実現は、様々な形態のネットワークにおいて重要な課題である。

## 【 0 0 0 4 】

現在、実用化されている光スイッチは、主に導波路型の小規模スイッチであり、入出力ファイバレイとスイッチ素子から構成されている。スイッチ素子を大規模化するには、スイッチセル自身の歩留まりを上げる必要があるが、製造工程における寸法トレランスが狭いので難しい。

## 【 0 0 0 5 】

また、光の損失要因には、スイッチセル部分での損失と、入出力ファイバとの接続部分での損失があるが、これらを低減させることは難しい。このため、スイッチ素子を大規模化するには、製造工程の改良による歩留まり向上のみならず、素子性能を格段に向上させる必要がある。

## 【 0 0 0 6 】

一方、伝統的な技術として、光を空間的にスイッチングする構成が考えられる。例えば、光路変更素子として反射ミラーを用いれば、導波路スイッチで問題になるon/off比、クロストーク等の性能については、まったく問題がない。しかしながら、スイッチの体積が大きくなるので、大きさの観点から大規模化が困難である。

## 【 0 0 0 7 】

この状況を打破するために、最近、この空間スイッチを半導体製造技術で小さく作製する技術が開発されている。この技術は、マイクロ・エレクトロ・メカニカルシステム (Micro Electro Mechanical System, MEMS) と呼ばれ、特に光分野に適用したものは、光MEMSとも言われている。この技術によれば、半導体製造技術を用いて微小ミラーが基板上に作製され、このミラーを静電力により3次元的に傾けることで、所要の入出力間が空間的に結合される。

## 【 0 0 0 8 】

図 1 3 は、MEMSの微小ミラーの例を示している。円形ミラー 1 1 のサイズ



は数100ミクロン程度であり、このミラー11の傾きは、四方に配置された電極12の静電力で調整される。これにより、ミラー11で反射された光の出力方向が3次元的に変化し、スイッチングが行われる。

## 【0009】

この空間スイッチは、ミラーを用いているので、スイッチング性能は導波路型よりも優れており、そのサイズも導波路型と同じ程度に小さい。このような可動ミラー1つで、図14に示すように、1入力n出力のスイッチングが空間的に行われるので、このスイッチは3次元MEMSスイッチと呼ばれている。

## 【0010】

図14において、可動ミラー13は、1本の入力ファイバ14からの光をn本の出力ファイバ15のいずれかに出力することができる。この場合、ミラー変位パラメータは、x軸の回りのミラーの回転角を表す $\theta_x$ と、y軸の回りのミラーの回転角を表す $\theta_y$ の2つである。あらかじめ求められている電圧 $V_x$ 、 $V_y$ を電極に印加することにより、ミラーの傾き角度が所定量だけ変位し、スイッチングが行われる。

## 【0011】

この可動ミラーの角度変位量が大きくとれない場合、図15に示すように、可動ミラーを2段にする構成も考えられている。図15において、入力ファイバ14からの光は、1段目の可動ミラー16により反射されて、固定ミラー17に向かい、固定ミラー17により反射された後、2段目の可動ミラー18に向かう。そして、可動ミラー18により反射されて、n本の出力ファイバ15のいずれかから出力される。この場合、ミラー変位パラメータは、各可動ミラーについて $\theta_x$ と $\theta_y$ の2つであるから、合わせて4個となる。

## 【0012】

n入力n出力のスイッチを構成する場合、1段型ではn個の可動ミラーが用いられ、2段型では2n個の可動ミラーが用いられる。

## 【0013】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来の光MEMSスイッチには、次のような問題があ

る。

【 0 0 1 4 】

スイッチに用いられるミラーの剛性は、雰囲気温度や湿度により変化する。これに起因して、ミラーの電圧－回転角度特性が変化してしまい、スイッチング時の光結合特性が劣化することが考えられる。光結合特性の劣化には、光結合効率の低下、他のチャネルへのクロストーク等が含まれる。

【 0 0 1 5 】

また、ミラーの機械的振動等によってもスイッチング時の光結合特性が劣化することが考えられる。このように様々な要因で発生するであろう光結合特性の劣化を、なんらかの形で補償することが不可欠である。

【 0 0 1 6 】

本発明の課題は、フォトニックネットワークを構成するノード装置において、光結合特性の劣化を補償する光MEMSスイッチを提供することである。

【 0 0 1 7 】

【課題を解決するための手段】

図1は、本発明の光スイッチの原理図である。図1の光スイッチは、印加電圧に応じて傾き角度が変化するミラー20、ドライバ手段21、発振手段22、重畳手段23、検出手段24、および制御手段25を備える。

【 0 0 1 8 】

ドライバ手段21は、ミラー20に印加電圧を印加し、発振手段22は、所定周波数の付加信号を発生し、重畳手段23は、印加電圧に付加信号を重畳する。検出手段24は、ミラー20で反射された光から上記所定周波数の信号成分を検出し、制御手段25は、検出された信号成分に基づいて印加電圧を制御する。

【 0 0 1 9 】

ミラー20は、例えば、MEMSの微小ミラーに対応し、光を反射して光スイッチからの出力光を生成する。重畳手段23は、ドライバ手段21から出力された印加電圧に、発振手段22が生成した付加信号を重畳する。そして、付加信号が重畳された印加電圧がミラー20に印加され、ミラー20を駆動する。

【 0 0 2 0 】

ミラー 2 0 で反射された光は、付加信号の周波数の信号成分を含み、この信号成分は、検出手段 2 4 により検出されて、制御手段 2 5 に出力される。制御手段 2 5 は、この信号成分の値に応じて印加電圧を増減するように、ドライバ手段 2 1 を制御する。

#### 【0 0 2 1】

このような光スイッチによれば、反射光に現れる付加信号の周波数成分は、光結合特性の変動に応じて変化する。このため、この成分の変化に応じて印加電圧を増減することで、光結合特性の変動を補償することが可能になる。

#### 【0 0 2 2】

図 1 のドライバ手段 2 1 は、例えば、後述する図 5 のドライバ回路 4 6、後述する図 7 のドライバ／制御回路 6 3、6 4、および後述する図 9 のドライバ／制御回路 1 0 3、1 0 4、1 1 3、1 1 4 に対応する。

#### 【0 0 2 3】

図 1 の発振手段 2 2 は、例えば、図 5 の低周波発振回路 4 8、図 7 の低周波発振回路 6 5、6 6、および図 9 の低周波発振回路 1 0 5、1 0 6、1 1 5、1 1 6 に対応する。

#### 【0 0 2 4】

図 1 の重畳手段 2 3 は、例えば、図 5 の低周波重畳回路 4 5、図 7 の低周波重畳回路 6 1、6 2、および図 9 の低周波重畳回路 1 0 1、1 0 2、1 1 1、1 1 2 に対応する。

#### 【0 0 2 5】

図 1 の検出手段 2 4 は、例えば、図 5 の低周波検出回路 4 4 に対応する。また、図 1 の制御手段 2 5 は、例えば、図 5 の制御回路 4 7、図 7 のドライバ／制御回路 6 3、6 4、図 9 のドライバ／制御回路 1 0 3、1 0 4、1 1 3、1 1 4、および後述する図 1 0 のデジタル制御回路 1 2 1、外部記憶回路 1 2 2 に対応する。

#### 【0 0 2 6】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

光MEMSスイッチの各出力ファイバ（チャネル）における光結合効率 $\eta$ は、次式により表される。

【0027】

$$\eta = \exp(-\pi^2 \theta^2 w^2 / \lambda^2) \quad (1)$$

ここで、 $\theta$ はミラーで反射された光ビームと出力ファイバの角度のずれを表し、ミラーの回転角度のずれに比例する。また、 $w$ はビーム径を表し、 $\lambda$ は光の波長を表す。

【0028】

また、ミラーの回転角度と電極への印加電圧の関係はほぼ線形であるので、光結合と回転角度の関係は、光結合効率 $\eta$ とMEMS駆動電圧（印加電圧） $V$ の特性（ $\eta-V$ 特性）で置き換えることができる。この $\eta-V$ 特性は、（1）式の $\eta-\theta$ 特性と同様に、一般に単峰性の非線形な特性となる。そこで、各出力ファイバに対して、この光結合効率がピークとなるように、所定の電圧が印加される。

【0029】

図2は、ある出力ファイバにおける $\eta-V$ 特性の例を示している。図2において、 $\eta$ の単位はデシベル（dB）であり、 $V=V_a$ で $\eta$ がピーク値をとる。したがって、入力光をこの出力ファイバへスイッチングする場合、 $V_a$ が電極に印加される。さらに、本実施形態では、 $\eta-V$ 特性のドリフト（ずれ）を検出し、それによる出力光の劣化を補償するために、 $V_a$ に低周波信号 $V_c \cdot \cos(\omega t)$ を付加信号として重畳する。

【0030】

図3は、印加電圧に低周波信号を重畳した場合のドリフトと出力光の関係を示している。まず、曲線31で示されるように、 $\eta-V$ 特性にドリフトがない状態では、低周波信号が重畳された印加電圧33（ $V_a + V_c \cdot \cos(\omega t)$ ）に対して、出力光の信号34には低周波成分は現れない。

【0031】

しかし、 $\eta-V$ 特性が印加電圧の正の方向（右方向）にドリフトして曲線32

のようになると、出力光の信号 3 5 は  $V_{ma} + V_{mc} \cdot \cos(\omega t)$  となり、出力光のレベルが低下するとともに、印加電圧と同位相の低周波成分が重畳されて現れる。また、図 4 に示すように、 $\eta - V$  特性が負の方向（左方向）にドリフトして曲線 3 6 のようになると、出力光の信号 3 7 は、 $V_{ma} - V_{mc} \cdot \cos(\omega t)$  となり、印加電圧と逆位相の低周波成分が現れる。

## 【 0 0 3 2 】

このように、出力光に現れる低周波成分は、ドリフトの方向により位相が異なる。したがって、この低周波成分の位相を検出することで、どの方向に印加電圧をシフトさせれば、光結合効率を元の状態に戻すことができるかが分かる。正方向のドリフトの場合は、印加電圧を大きくすればよく、負方向のドリフトの場合は、印加電圧を小さくすればよい。

## 【 0 0 3 3 】

また、低周波成分の振幅  $V_{mc}$  の大きさは、ドリフトの大きさに応じて変化するので、これを検出することで、印加電圧をどの程度シフトさせればよいかが分かる。こうして、印加電圧に所定の周波数の信号を重畳し、出力光に現れた同じ周波数の成分を検出することで、ドリフトによる光結合特性の劣化を補償することができる。

## 【 0 0 3 4 】

図 5 は、このような補償動作を行う光スイッチの構成図である。図 5 の光スイッチは、光路 4 1、4 2、ミラー部 4 3、低周波検出部 4 4、低周波重畳回路 4 5、ドライバ回路 4 6、制御回路 4 7、および低周波発振回路 4 8 から構成される。

## 【 0 0 3 5 】

ミラー部 4 3 は、微小ミラーと電極を含み、光路 4 1 と 4 2 は、それぞれ、スイッチの入力光と出力光の光路に対応する。ドライバ回路 4 6 は、出力光を所定の出力ファイバに導くための所定の印加電圧を生成する。低周波発振回路 4 8 は、所定の周波数の低周波信号を発生し、低周波重畳回路 4 5 は、ドライバ回路 4 6 からの印加電圧に、低周波発振回路 4 8 からの低周波信号を重畳して、ミラー部 4 3 の電極に印加する。

## 【0036】

低周波検出部44は、ミラーにより反射された出力光から低周波成分を検出して、制御回路47に伝達する。制御回路47は、受け取った低周波成分と低周波発振回路48の出力信号を用いて制御信号を生成し、ドライバ回路46に出力する。そして、ドライバ回路46は、制御信号に応じて印加電圧を変化させる。

## 【0037】

図5の光スイッチは、アナログ回路または／およびデジタル回路を用いて実現することが可能である。アナログ回路を用いた場合、例えば、図6のような回路構成が考えられる。

## 【0038】

図6において、光カプラ51、フォトダイオード52、および増幅器53は、図5の低周波検出部44に対応し、発振器55は、図5の低周波発振回路48に対応する。また、乗算器54（同期検波器等）および低域通過フィルタ56は、図5の制御回路47に対応し、差動増幅器57は、図5のドライバ回路46に対応し、コイル58およびキャパシタ59は、図5の低周波重畳回路45に対応する。

## 【0039】

発振器55は、 $V_c \cdot \cos(\omega t)$ の低周波信号を発生し、差動増幅器57は、ドリフトなしの状態では印加電圧 $V_a$ を出力する。光カプラ51は、光路42上の出力光を分岐し、フォトダイオード52は、分岐された光の信号を検出する。そして、増幅器53は、検出された信号を増幅して乗算器54に入力する。

## 【0040】

このとき、図3に示したように、 $\eta-V$ 特性が正方向にドリフトすると、増幅器53の出力は、 $V_{ma} + V_{mc} \cdot \cos(\omega t)$ となる。乗算器54は、この信号に発振器55の出力を乗算して、次のような信号 $V_M$ を生成する。

## 【0041】

$$\begin{aligned} V_M &= \{V_{ma} + V_{mc} \cdot \cos(\omega t)\} \cdot V_c \cdot \cos(\omega t) \\ &= V_{ma} \cdot V_c \cdot \cos(\omega t) + V_{mc} \cdot V_c \cdot \cos^2(\omega t) \end{aligned}$$

$$= V_{ma} \cdot V_c \cdot \cos(\omega t) + 0.5 \cdot V_{mc} \cdot V_c + 0.5 \cdot V_{mc} \cdot V_c \cdot \cos(2\omega t) \quad (2)$$

低域通過フィルタ 5 6 は、信号  $V_M$  の交流成分を除去し、直流成分のみを通すように設計されており、 $0.5 \cdot V_{mc} \cdot V_c$  の直流電圧を出力する。同様にして、図 4 に示したように、 $\eta - V$  特性が負方向にドリフトした場合は、低域通過フィルタ 5 6 から  $-0.5 \cdot V_{mc} \cdot V_c$  の直流電圧が出力される。そして、差動増幅器 5 7 は、この直流電圧を、本来印加していた  $V_a$  と比較することにより、ドリフトを補償した印加電圧  $V_a + \Delta V_a$  を生成する。

## 【 0 0 4 2 】

$V_{mc}$  はドリフトの大きさにほぼ比例すると考えられるので、低域通過フィルタ 5 6 の出力の絶対値もまた、ドリフトの大きさに比例する。さらに、ドリフトの方向が正方向であれば、出力値は正となり、負方向であれば負となる。したがって、この値を用いて印加電圧を制御することで、ドリフトの影響を補償することができる。

## 【 0 0 4 3 】

図 5 の光スイッチは、ミラーの 2 つの回転軸のうち的一方に関する回転角度を制御する構成になっているが、2 つの回転軸に関する回転角度を同時に制御する場合の構成は、図 7 のようになる。図 7 の光スイッチは、光路 4 1、4 2、ミラー部 4 3、低周波検出部 4 4、低周波重畳回路 6 1、6 2、ドライバ／制御回路 6 3、6 4、および低周波発振回路 6 5、6 6 から構成される。ドライバ／制御回路 6 3、6 4 はともに、図 5 のドライバ回路 4 6 と制御回路 4 7 の機能を有する。

## 【 0 0 4 4 】

この場合、ミラー部 4 3 のミラーの 2 つの回転軸を  $x$  軸、 $y$  軸とし、これらの回転軸のまわりの回転角度をそれぞれ  $\theta_x$ 、 $\theta_y$  とする。また、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  を制御する電極をそれぞれ  $x$  軸電極、 $y$  軸電極とし、それらに印加される電圧をそれぞれ  $V_x$ 、 $V_y$  とする。低周波重畳回路 6 1、ドライバ／制御回路 6 3、および低周波発振回路 6 5 は、低周波検出部 4 4 からの信号に基づき  $V_x$  を調整し、低

周波重畳回路 6 2、ドライバ／制御回路 6 4、および低周波発振回路 6 6 は、低周波検出部 4 4 からの信号に基づき  $V_y$  を調整する。

## 【 0 0 4 5 】

図 7 の光スイッチをアナログ回路で構成すると、例えば、図 8 のような回路構成となる。図 8 において、発振器 7 3、7 4 は、図 7 の低周波発振回路 6 5、6 6 に対応する。また、乗算器 7 1、低域通過フィルタ 7 5、および差動増幅器 7 7 は、図 7 のドライバ／制御回路 6 3 に対応し、乗算器 7 2、低域通過フィルタ 7 6、および差動増幅器 7 8 は、図 7 のドライバ／制御回路 6 4 に対応する。また、コイル 7 9 およびキャパシタ 8 1 は、図 7 の低周波重畳回路 6 1 に対応し、コイル 8 0 およびキャパシタ 8 2 は、図 7 の低周波重畳回路 6 2 に対応する。

## 【 0 0 4 6 】

発振器 7 3、7 4 は、それぞれ  $V_{cx} \cdot \cos(\omega_x t)$ 、 $V_{cy} \cdot \cos(\omega_y t)$  の低周波信号を発生し、差動増幅器 7 7、7 8 は、ドリフトなしの状態で、それぞれ印加電圧  $V_{ax}$ 、 $V_{ay}$  を出力する。

## 【 0 0 4 7 】

ここで、 $x$  軸、 $y$  軸ともに  $\eta - V$  特性がドリフトしたとすると、出力光には  $\omega_x$  と  $\omega_y$  の 2 つの低周波成分が重畳されて現れる。したがって、増幅器 5 3 の出力は、 $V_{ma} + V_{mcx} \cdot \cos(\omega_x t) + V_{mcy} \cdot \cos(\omega_y t)$  となる。ただし、 $V_{ma}$  は、 $V_x = V_{ax}$ 、 $V_y = V_{ay}$  の場合の出力値とする。乗算器 7 1 は、この信号に発振器 7 3 の出力を乗算して、次のような信号  $V_{Mx}$  を生成する。

## 【 0 0 4 8 】

$$\begin{aligned}
 V_{Mx} &= \{ V_{ma} + V_{mcx} \cdot \cos(\omega_x t) + V_{mcy} \cdot \cos(\omega_y t) \} \\
 &\quad \cdot V_{cx} \cdot \cos(\omega_x t) \\
 &= V_{ma} \cdot V_{cx} \cdot \cos(\omega_x t) + V_{mcx} \cdot V_{cx} \cdot \cos^2(\omega_x t) \\
 &\quad + V_{mcy} \cdot V_{cx} \cdot \cos(\omega_x t) \cdot \cos(\omega_y t) \\
 &= 0.5 \cdot V_{mcx} \cdot V_{cx} + 0.5 \cdot V_{mcx} \cdot V_{cx} \cdot \cos(2\omega_x t) \\
 &\quad + V_{ma} \cdot V_{cx} \cdot \cos(\omega_x t) \\
 &\quad + 0.5 \cdot V_{mcy} \cdot V_{cx} \cdot \cos((\omega_x + \omega_y)t)
 \end{aligned}$$



$$+ 0.5 \cdot V_{mcy} \cdot V_{cx} \cdot \cos((\omega_x - \omega_y)t)$$

(3)

この  $V_{Mx}$  が低域通過フィルタ 75 を通ると、交流成分は除去され、 $0.5 \cdot V_{mcx} \cdot V_{cx}$  の直流電圧が得られる。この値は、 $x$  軸に関する  $\eta-V$  特性のドリフトの大きさに比例すると考えられ、ドリフトの方向の正／負に応じて正／負となる。差動増幅器 77 は、この直流電圧を  $V_{ax}$  と比較することにより、ドリフトを補償した印加電圧  $V_{ax} + \Delta V_{ax}$  を生成する。

【0049】

同様にして、乗算器 72 は、増幅器 53 の出力に発振器 74 の出力を乗算して信号  $V_{My}$  を生成し、低域通過フィルタ 76 は、 $y$  軸におけるドリフトに対応する直流電圧を出力する。そして、差動増幅器 78 は、この直流電圧を  $V_{ay}$  と比較することにより、ドリフトを補償した印加電圧  $V_{ay} + \Delta V_{ay}$  を生成する。

【0050】

このような制御方法によれば、制御対象のパラメータが増えた場合には、パラメータの数に応じて、異なる周波数の低周波発振回路、ドライバ／制御回路、および低周波重畳回路を用意すればよいことが分かる。例えば、図 15 に示した 2 段型ミラー構成のスイッチセルの場合、前段と後段の各ミラー部について、図 7 と同様の回路を設ければよい。

【0051】

図 9 は、このような 2 段型ミラー構成の光スイッチの構成図である。図 9 の光スイッチは、光路 41、42、低周波検出部 44、ミラー部 91、92、低周波重畳回路 101、102、111、112、ドライバ／制御回路 103、104、113、114、および低周波発振回路 105、106、115、116 から構成される。

【0052】

この場合、前段のミラー部 91 のミラーの  $x$  軸、 $y$  軸のまわりの回転は、それぞれ、印加電圧  $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$  により制御され、後段のミラー部 92 のミラーの  $x$  軸、 $y$  軸のまわりの回転は、それぞれ、印加電圧  $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$  により制御される。ま

た、低周波発振回路105、106、115、116は、それぞれ、周波数 $\omega x1$ 、 $\omega y1$ 、 $\omega x2$ 、 $\omega y2$ の低周波信号を発生し、低周波検出部44は、これらの4つの低周波成分を検出する。この光スイッチをアナログ回路で構成すると、図8と同様の回路構成となる。

## 【0053】

図6および図8では、アナログ回路の構成例を示したが、図5の制御回路47、図7のドライバ／制御回路63、64、および図9のドライバ／制御回路103、104、113、114にデジタル回路を付加することも可能である。

## 【0054】

図10は、図5の光スイッチにデジタル回路を付加した構成を示している。図10の光スイッチは、図5の構成に加えて、さらにデジタル制御回路121と外部記憶回路122を有する。

## 【0055】

デジタル制御回路121は、制御回路47からのアナログ電圧をデジタル信号に変換して、所定の演算により制御信号を生成し、その制御信号をアナログ電圧に変換して、ドライバ回路46に入力する。また、一定周期で印加電圧 $V_a$ と光結合効率 $\eta$ の値を外部記憶回路122に書き込む。そして、外部記憶回路122は、それらのパラメータの値をパフォーマンスデータとして、ノード装置の装置制御部に通知する。

## 【0056】

光MEMSスイッチの状態は、これらの2つのパラメータを監視することで推測することができる。例えば、 $\eta$ が一定のままで、 $V_a$ のみが徐々に増加または減少していく場合、MEMSの電極部での劣化が考えられる。この場合、やがて必要印加電圧が制御範囲を超えてしまうことが予測される。

## 【0057】

そこで、この値の閾値（上限値・下限値）を装置制御部に設定しておき、その値に達した場合は、装置制御部がクリティカルアラームを発生させるようにする。これにより、ユーザは、電極が完全に劣化してしまう前に交換することが可能になる。逆に、 $\eta$ のみが減少していく場合は、光結合部での劣化が考えられる。

この場合も、同様にアラームの閾値を決めておくことにより、劣化前に交換が可能になる。

## 【0058】

図11は、図10の光スイッチの回路構成の一例を示している。図11において、図6と同じ符号の部分は、図6と同じものを指している。また、通信LSI (Large-Scale Integration) 131およびRAM (Random Access Memory) 132は、図10の外部記憶回路122に対応し、演算回路133、D/A (デジタル/アナログ) 変換回路134、およびA/D変換回路135は、図10のデジタル制御回路121に対応し、増幅器136は、図10のドライバ回路46に対応する。

## 【0059】

A/D変換回路135は、低域通過フィルタ56の出力をデジタル信号に変換して、演算回路133に出力する。演算回路133は、入力された信号に基づいて、ドリフトを補償するための印加電圧を計算し、その値に対応する信号をD/A変換回路134に出力する。D/A変換回路134は、入力された信号をアナログ信号に変換して増幅器136に出力し、増幅器136は、その信号を増幅する。

## 【0060】

また、演算回路133は、 $V_a$  と  $\eta$  の値を計算してRAM132に書き込み、通信LSI131は、RAM132に記憶されたデータを装置制御部に通知する。 $\eta$  の代わりに、光結合損失を表すパラメータを用いてもよい。また、図7および図9のドライバ/制御回路にデジタル回路を付加した場合も、図10の構成と同様である。

## 【0061】

ところで、光スイッチに用いられるミラーは、可動ミラーであるため、図12に示すように、機械的な共振振動を起こす可能性がある。可動ミラーのモデルとして完全にフリーな円板を用いると、その共振周波数  $f_r$  は、次式で表される。

## 【0062】

$$f_r = (\lambda^2 \cdot h / 2 / \pi / a^2) \cdot ((E / 3 / (1 - V^2) / \rho)^{0.5})$$

(4)

ここで、 $\lambda$ 、 $h$ 、 $a$ 、 $E$ 、 $V$ 、および $\rho$ は、それぞれ、モードパラメータ、厚み、半径、ヤング率、ポアソン比、および材料密度を表す。例えば、 $\lambda = 3.2$  (基本モードの場合)、 $h = 1 \mu\text{m}$ 、 $a = 150 \mu\text{m}$ 、 $E = 150 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 、 $V = \text{約} 0.3$ 、 $\rho = 2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  (Si (シリコン) の場合) とすると、 $f_r = 260 \text{ KHz}$  (周期:  $4 \mu\text{sec}$ ) と見積もられる。実際のミラーは4箇所を固定されているので、その共振周波数は、このオーダよりは高くなり、MHzのオーダになるものと考えられる。

## 【0063】

この共振が生じると、光結合効率が共振周波数で振動することになり、出力光の品質を低下させてしまう。共振でミラーが傾くことは、上述した $\eta - V$ 特性のドリフトと等価になると考えられるので、上述の低周波信号を用いた制御方法で共振振動の影響を補償することが可能である。

## 【0064】

しかし、重畳する低周波信号の周波数が共振周波数より低ければ、無制御状態が生じて、制御の開始が遅れてしまう。そこで、低周波信号の周波数を共振周波数より高く設定するとともに、制御系の時定数が小さくなるように回路を構成する。これにより、高精度な制御を行うことが可能になる。

## 【0065】

(付記1) 印加電圧に応じて傾き角度が変化するミラーと、  
前記ミラーに前記印加電圧を印加するドライバ手段と、  
所定周波数の付加信号を発生する発振手段と、  
前記印加電圧に前記付加信号を重畳する重畳手段と、  
前記ミラーで反射された光から前記所定周波数の信号成分を検出する検出手段と、  
検出された信号成分に基づいて前記印加電圧を制御する制御手段と

を備えることを特徴とする光スイッチ。

(付記 2) 前記印加電圧に関する情報と前記光スイッチの光結合効率に関する情報のうち少なくとも一方を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶された情報を所定の通知先に通知する通知手段とをさらに備えることを特徴とする付記 1 記載の光スイッチ。

(付記 3) 前記発振手段は、前記ミラーの機械的共振周波数より高い周波数の付加信号を発生することを特徴とする付記 1 記載の光スイッチ。

(付記 4) 第 1 の印加電圧に応じて第 1 の方向の傾き角度が変化し、第 2 の印加電圧に応じて第 2 の方向の傾き角度が変化するミラーと、

前記ミラーに前記第 1 の印加電圧を印加する第 1 のドライバ手段と、

前記ミラーに前記第 2 の印加電圧を印加する第 2 のドライバ手段と、

第 1 の周波数の第 1 の付加信号を発生する第 1 の発振手段と、

第 2 の周波数の第 2 の付加信号を発生する第 2 の発振手段と、

前記第 1 の印加電圧に前記第 1 の付加信号を重畳する第 1 の重畳手段と、

前記第 2 の印加電圧に前記第 2 の付加信号を重畳する第 2 の重畳手段と、

前記ミラーで反射された光から前記第 1 および第 2 の周波数の信号成分を検出する検出手段と、

検出された第 1 の周波数の信号成分に基づいて前記第 1 の印加電圧を制御する第 1 の制御手段と、

検出された第 2 の周波数の信号成分に基づいて前記第 2 の印加電圧を制御する第 2 の制御手段と

を備えることを特徴とする光スイッチ。

(付記 5) 第 1 の印加電圧に応じて第 1 の方向の傾き角度が変化し、第 2 の印加電圧に応じて第 2 の方向の傾き角度が変化する前段のミラーと、

第 3 の印加電圧に応じて第 3 の方向の傾き角度が変化し、第 4 の印加電圧に応じて第 4 の方向の傾き角度が変化する後段のミラーと、

前記前段のミラーに前記第 1 の印加電圧を印加する第 1 のドライバ手段と、

前記前段のミラーに前記第 2 の印加電圧を印加する第 2 のドライバ手段と、

第 1 の周波数の第 1 の付加信号を発生する第 1 の発振手段と、

第 2 の周波数の第 2 の付加信号を発生する第 2 の発振手段と、  
前記第 1 の印加電圧に前記第 1 の付加信号を重畳する第 1 の重畳手段と、  
前記第 2 の印加電圧に前記第 2 の付加信号を重畳する第 2 の重畳手段と、  
前記後段のミラーに前記第 3 の印加電圧を印加する第 3 のドライバ手段と、  
前記後段のミラーに前記第 4 の印加電圧を印加する第 4 のドライバ手段と、  
第 3 の周波数の第 3 の付加信号を発生する第 3 の発振手段と、  
第 4 の周波数の第 4 の付加信号を発生する第 4 の発振手段と、  
前記第 3 の印加電圧に前記第 3 の付加信号を重畳する第 3 の重畳手段と、  
前記第 4 の印加電圧に前記第 4 の付加信号を重畳する第 4 の重畳手段と、  
前記後段のミラーで反射された光から前記第 1、第 2、第 3、および第 4 の周波数の信号成分を検出する検出手段と、

検出された第 1 の周波数の信号成分に基づいて前記第 1 の印加電圧を制御する第 1 の制御手段と、

検出された第 2 の周波数の信号成分に基づいて前記第 2 の印加電圧を制御する第 2 の制御手段と、

検出された第 3 の周波数の信号成分に基づいて前記第 3 の印加電圧を制御する第 3 の制御手段と、

検出された第 4 の周波数の信号成分に基づいて前記第 4 の印加電圧を制御する第 4 の制御手段と

を備えることを特徴とする光スイッチ。

(付記 6) 印加電圧に応じて傾き角度が変化するミラーを有する光スイッチのための制御装置であって、

前記ミラーに前記印加電圧を印加するドライバ手段と、  
所定周波数の付加信号を発生する発振手段と、  
前記印加電圧に前記付加信号を重畳する重畳手段と、  
前記ミラーで反射された光から前記所定周波数の信号成分を検出する検出手段と、

検出された信号成分に基づいて前記印加電圧を制御する制御手段と  
を備えることを特徴とする制御装置。

(付記 7) 第 1 の印加電圧に応じて第 1 の方向の傾き角度が変化し、第 2 の印加電圧に応じて第 2 の方向の傾き角度が変化するミラーを有する光スイッチのための制御装置であって、

前記ミラーに前記第 1 の印加電圧を印加する第 1 のドライバ手段と、  
 前記ミラーに前記第 2 の印加電圧を印加する第 2 のドライバ手段と、  
 第 1 の周波数の第 1 の付加信号を発生する第 1 の発振手段と、  
 第 2 の周波数の第 2 の付加信号を発生する第 2 の発振手段と、  
 前記第 1 の印加電圧に前記第 1 の付加信号を重畳する第 1 の重畳手段と、  
 前記第 2 の印加電圧に前記第 2 の付加信号を重畳する第 2 の重畳手段と、  
 前記ミラーで反射された光から前記第 1 および第 2 の周波数の信号成分を検出する検出手段と、

検出された第 1 の周波数の信号成分に基づいて前記第 1 の印加電圧を制御する第 1 の制御手段と、

検出された第 2 の周波数の信号成分に基づいて前記第 2 の印加電圧を制御する第 2 の制御手段と

を備えることを特徴とする制御装置。

(付記 8) 第 1 の印加電圧に応じて第 1 の方向の傾き角度が変化し、第 2 の印加電圧に応じて第 2 の方向の傾き角度が変化する前段のミラーと、第 3 の印加電圧に応じて第 3 の方向の傾き角度が変化し、第 4 の印加電圧に応じて第 4 の方向の傾き角度が変化する後段のミラーとを有する光スイッチのための制御装置であって、

前記前段のミラーに前記第 1 の印加電圧を印加する第 1 のドライバ手段と、  
 前記前段のミラーに前記第 2 の印加電圧を印加する第 2 のドライバ手段と、  
 第 1 の周波数の第 1 の付加信号を発生する第 1 の発振手段と、  
 第 2 の周波数の第 2 の付加信号を発生する第 2 の発振手段と、  
 前記第 1 の印加電圧に前記第 1 の付加信号を重畳する第 1 の重畳手段と、  
 前記第 2 の印加電圧に前記第 2 の付加信号を重畳する第 2 の重畳手段と、  
 前記後段のミラーに前記第 3 の印加電圧を印加する第 3 のドライバ手段と、  
 前記後段のミラーに前記第 4 の印加電圧を印加する第 4 のドライバ手段と、

第 3 の周波数の第 3 の付加信号を発生する第 3 の発振手段と、  
第 4 の周波数の第 4 の付加信号を発生する第 4 の発振手段と、  
前記第 3 の印加電圧に前記第 3 の付加信号を重畳する第 3 の重畳手段と、  
前記第 4 の印加電圧に前記第 4 の付加信号を重畳する第 4 の重畳手段と、  
前記後段のミラーで反射された光から前記第 1、第 2、第 3、および第 4 の周波数の信号成分を検出する検出手段と、  
検出された第 1 の周波数の信号成分に基づいて前記第 1 の印加電圧を制御する第 1 の制御手段と、  
検出された第 2 の周波数の信号成分に基づいて前記第 2 の印加電圧を制御する第 2 の制御手段と、  
検出された第 3 の周波数の信号成分に基づいて前記第 3 の印加電圧を制御する第 3 の制御手段と、  
検出された第 4 の周波数の信号成分に基づいて前記第 4 の印加電圧を制御する第 4 の制御手段と  
を備えることを特徴とする制御装置。

【 0 0 6 6 】

【発明の効果】

本発明によれば、フォトニックネットワークで用いられる光MEMSスイッチにおいて、光結合特性の劣化を補償することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の光スイッチの原理図である。

【図 2】

$\eta$  - V 特性を示す図である。

【図 3】

正方向のドリフトを示す図である。

【図 4】

負方向のドリフトを示す図である。

【図 5】



第 1 の光スイッチの構成図である。

【図 6】

第 1 の光スイッチの回路図である。

【図 7】

第 2 の光スイッチの構成図である。

【図 8】

第 2 の光スイッチの回路図である。

【図 9】

第 3 の光スイッチの構成図である。

【図 1 0】

第 4 の光スイッチの構成図である。

【図 1 1】

第 4 の光スイッチの回路図である。

【図 1 2】

ミラーの共振振動を示す図である。

【図 1 3】

微小ミラーを示す図である。

【図 1 4】

1 段型ミラー構成を示す図である。

【図 1 5】

2 段型ミラー構成を示す図である。

【符号の説明】

1 1 円形ミラー

1 2 電極

1 3、1 6、1 8 可動ミラー

1 4 入力ファイバ

1 5 出力ファイバ

1 7 固定ミラー

2 0 ミラー

- 2 1    ドライバ手段
- 2 2    発振手段
- 2 3    重畳手段
- 2 4    検出手段
- 2 5    制御手段
- 3 1、3 2、3 6    曲線
- 3 3    印加電圧
- 3 4、3 5、3 7    出力光の信号
- 4 1、4 2    光路
- 4 3、9 1、9 2    ミラー部
- 4 4    低周波検出部
- 4 5、6 1、6 2、1 0 1、1 0 2、1 1 1、1 1 2    低周波重畳回路
- 4 6    ドライバ回路
- 4 7    制御回路
- 4 8、6 5、6 6、1 0 5、1 0 6、1 1 5、1 1 6    低周波発振回路
- 5 1    光カプラ
- 5 2    フォトダイオード
- 5 3、1 3 6    増幅器
- 5 4、7 1、7 2    乗算器
- 5 5、7 3、7 4    発振器
- 5 6、7 5、7 6    低域通過フィルタ
- 5 7、7 7、7 8    差動増幅器
- 5 8、7 9、8 0    コイル
- 5 9、8 1、8 2    キャパシタ
- 6 3、6 4、1 0 3、1 0 4、1 1 3、1 1 4    ドライバ／制御回路
- 1 2 1    デジタル制御回路
- 1 2 2    外部記憶回路
- 1 3 1    通信 L S I
- 1 3 2    R A M

1 3 3 演算回路

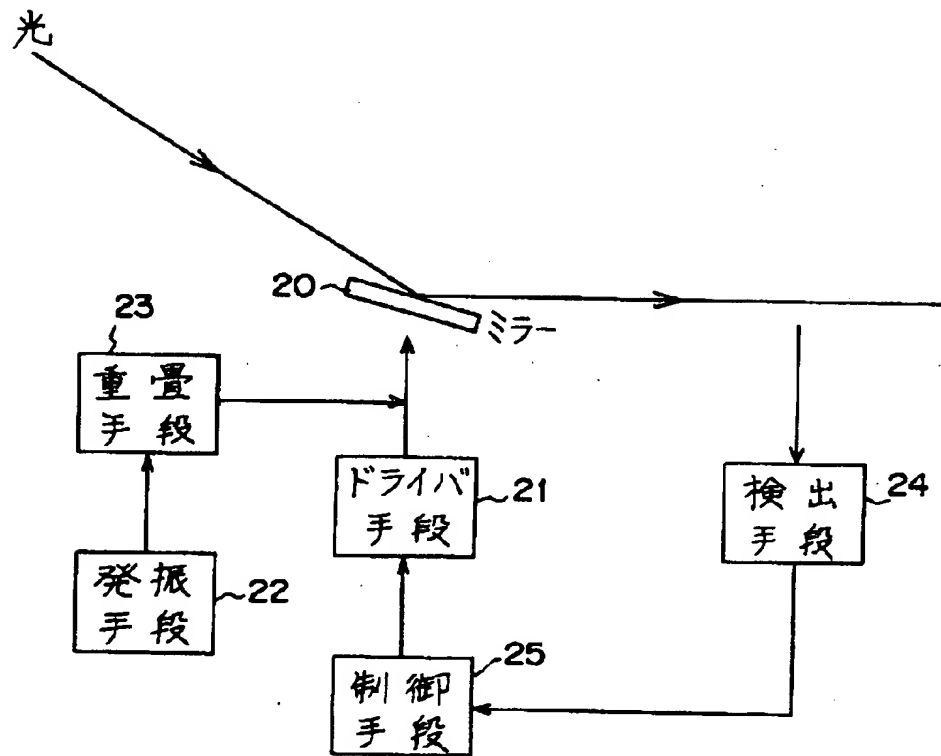
1 3 4 D / A 変換回路

1 3 5 A / D 変換回路

【書類名】 図面

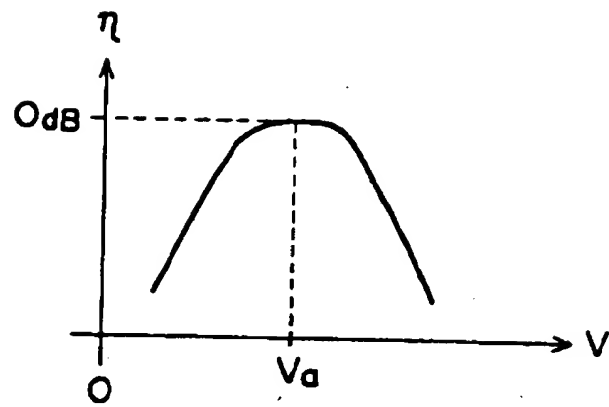
【図 1】

本発明の原理図



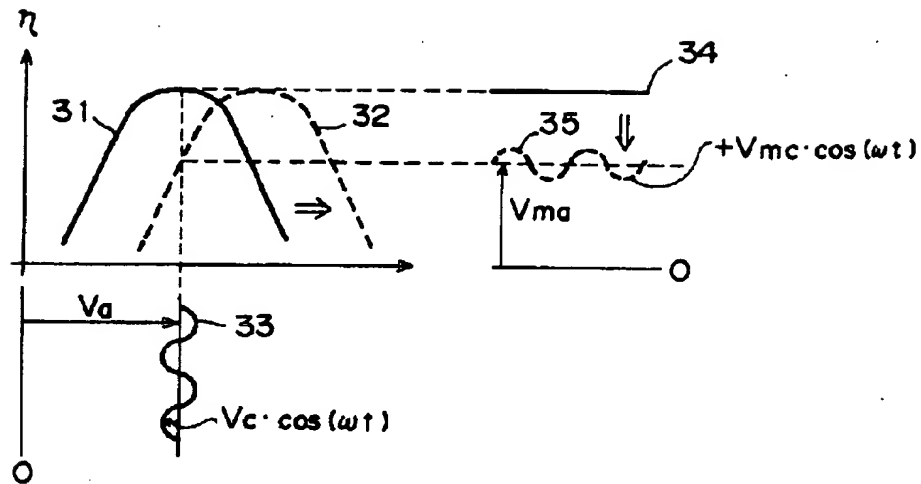
【図2】

$\eta$ - $V$  特性を示す図



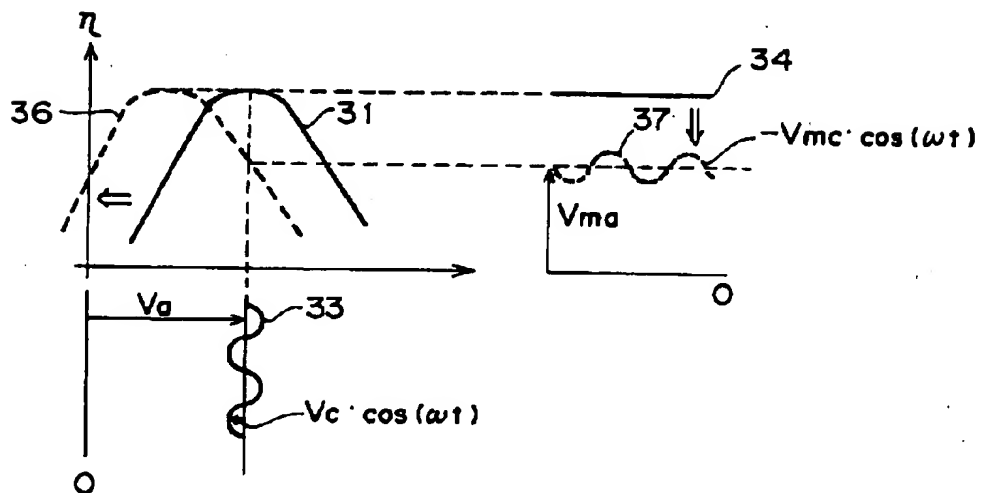
【図 3】

正方向のドリフトを示す図



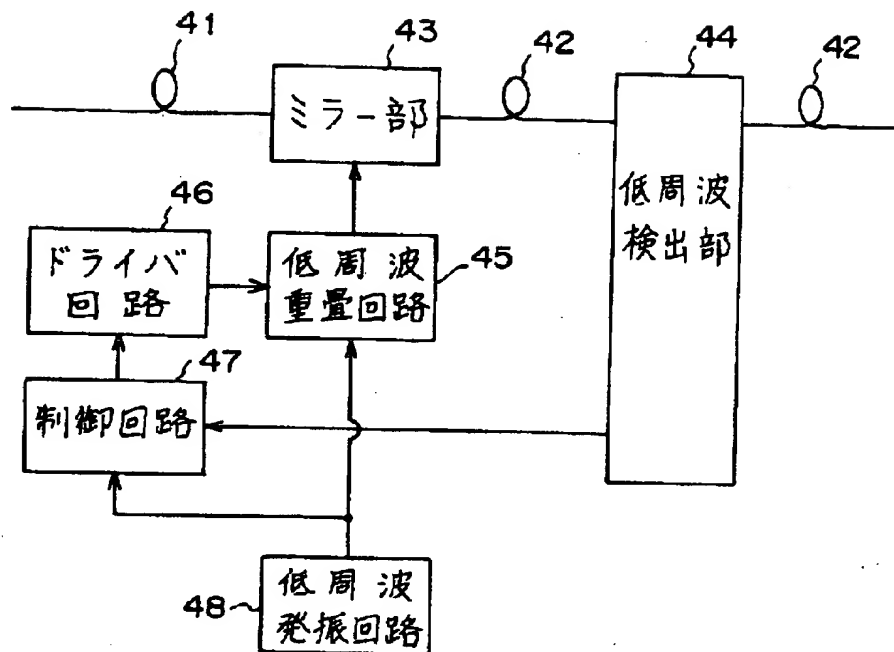
【図 4】

負方向のドリフトを示す図



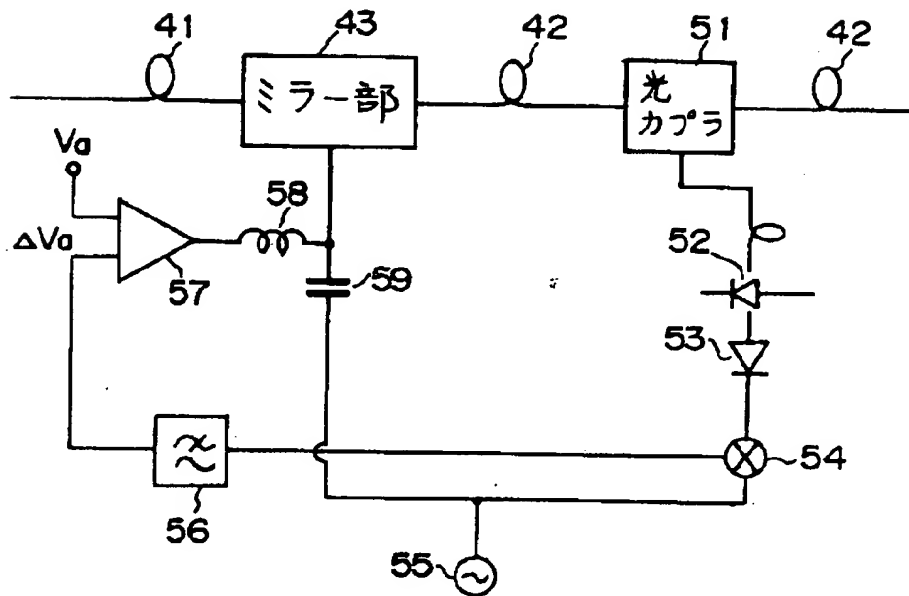
【図5】

第1の光スイッチの構成図



【図6】

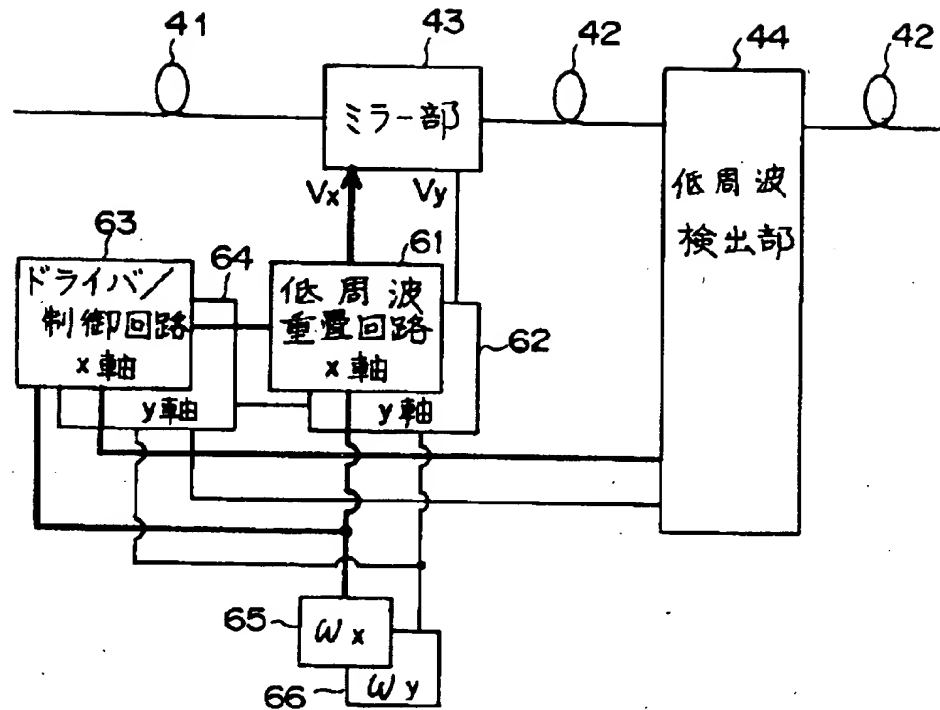
第1の光スイッチの回路図





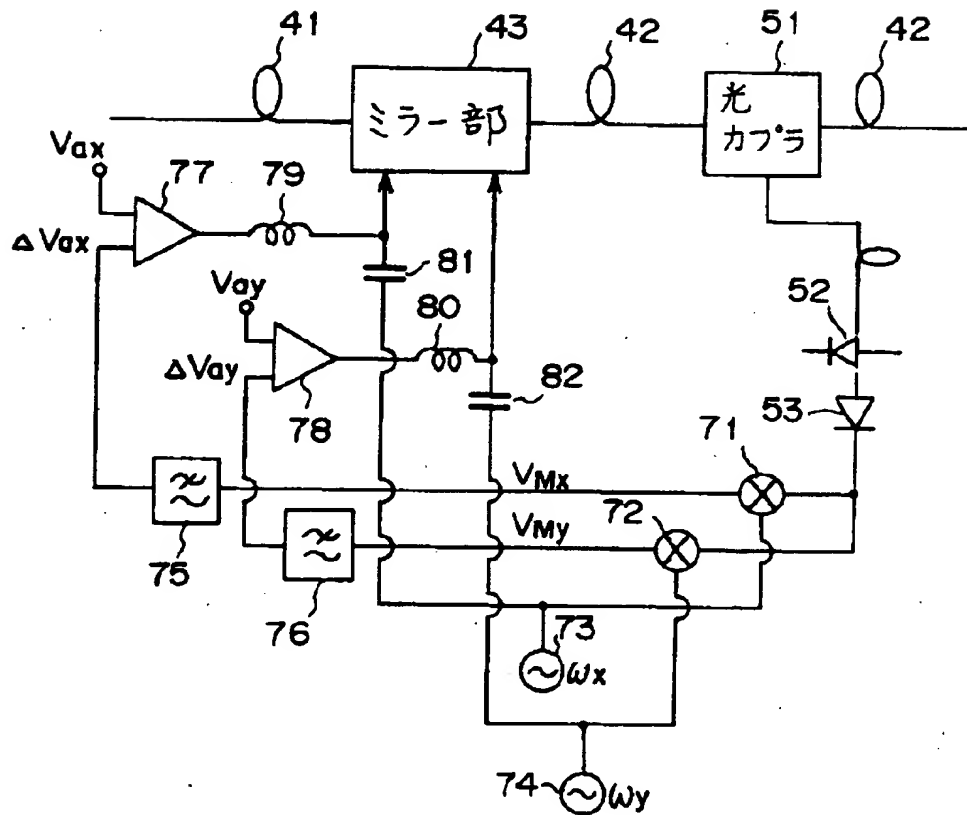
【図 7】

第2の光スイッチの構成図



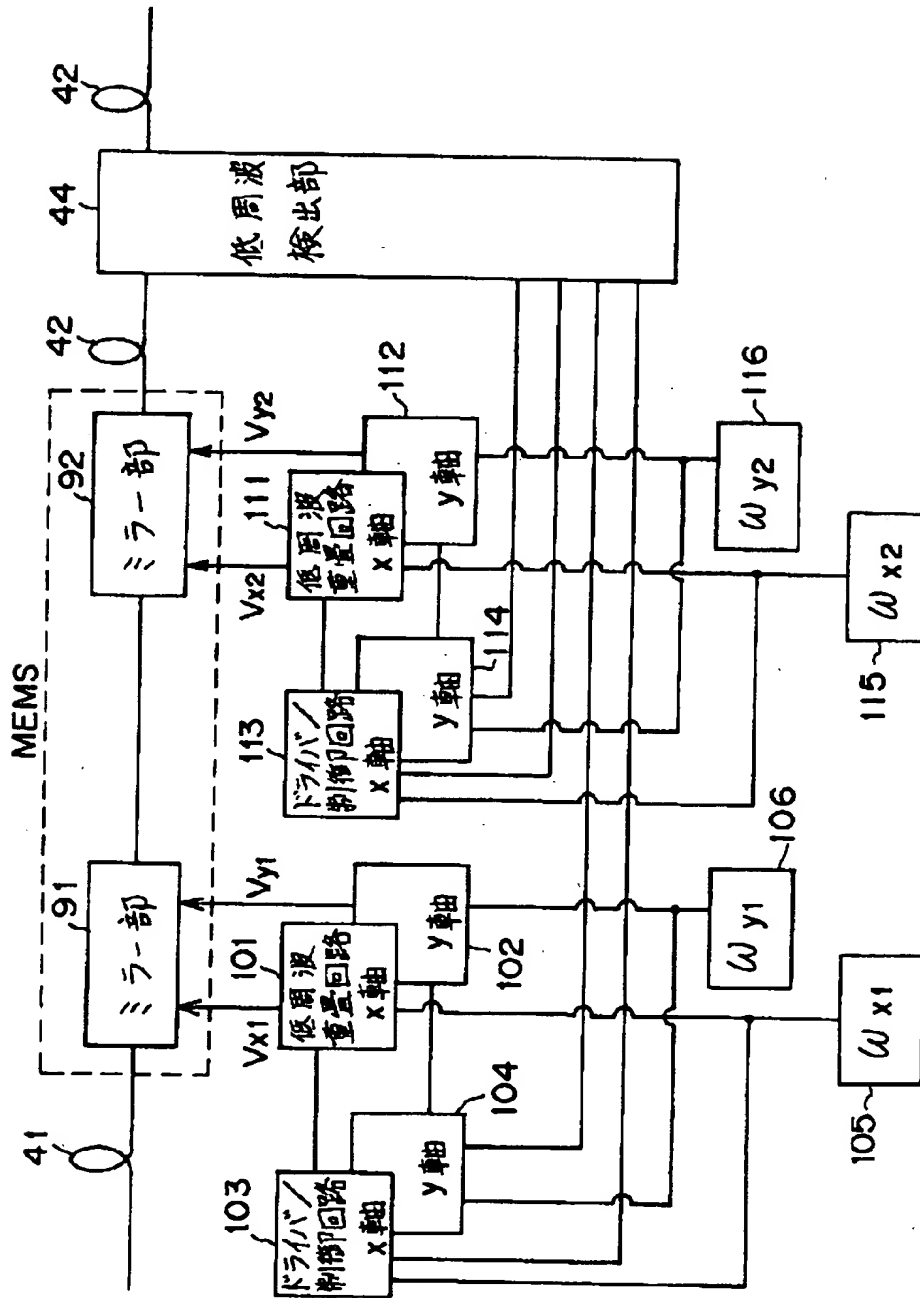
【図 8】

第 2 の光スイッチの回路図



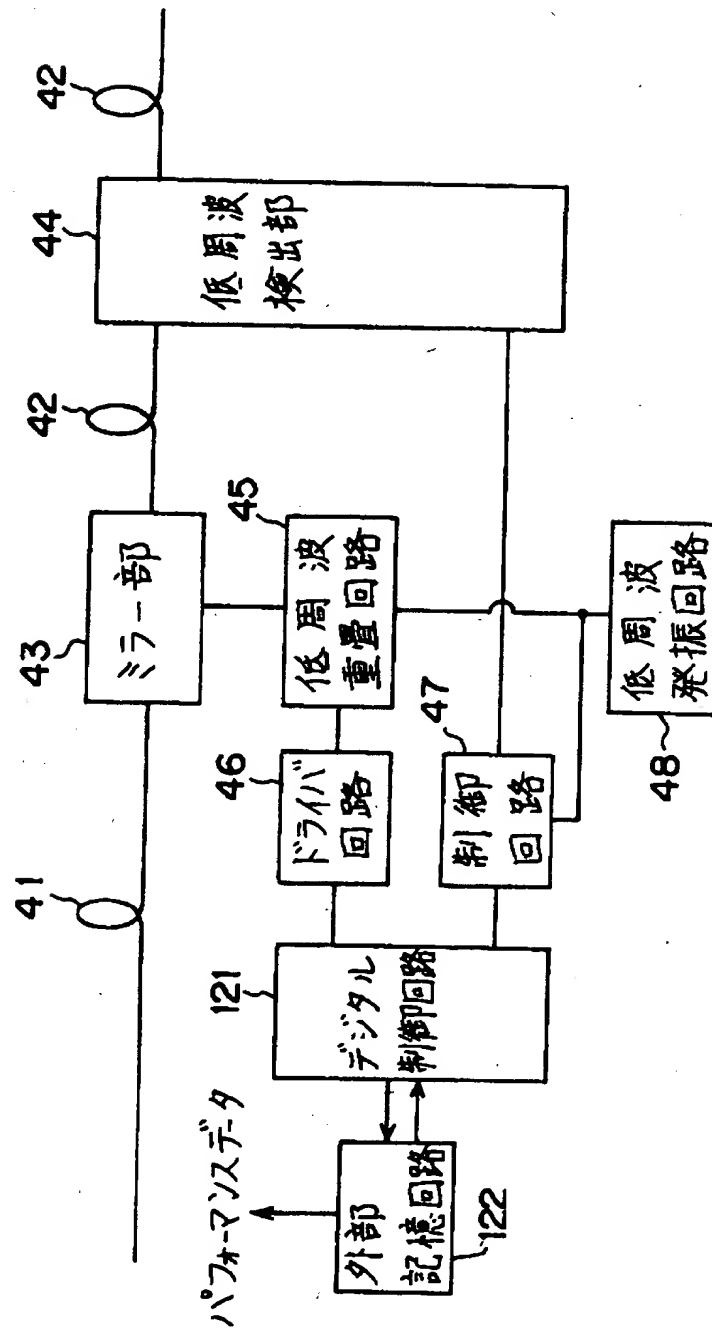
【図9】

第3の光スイッチの構成図



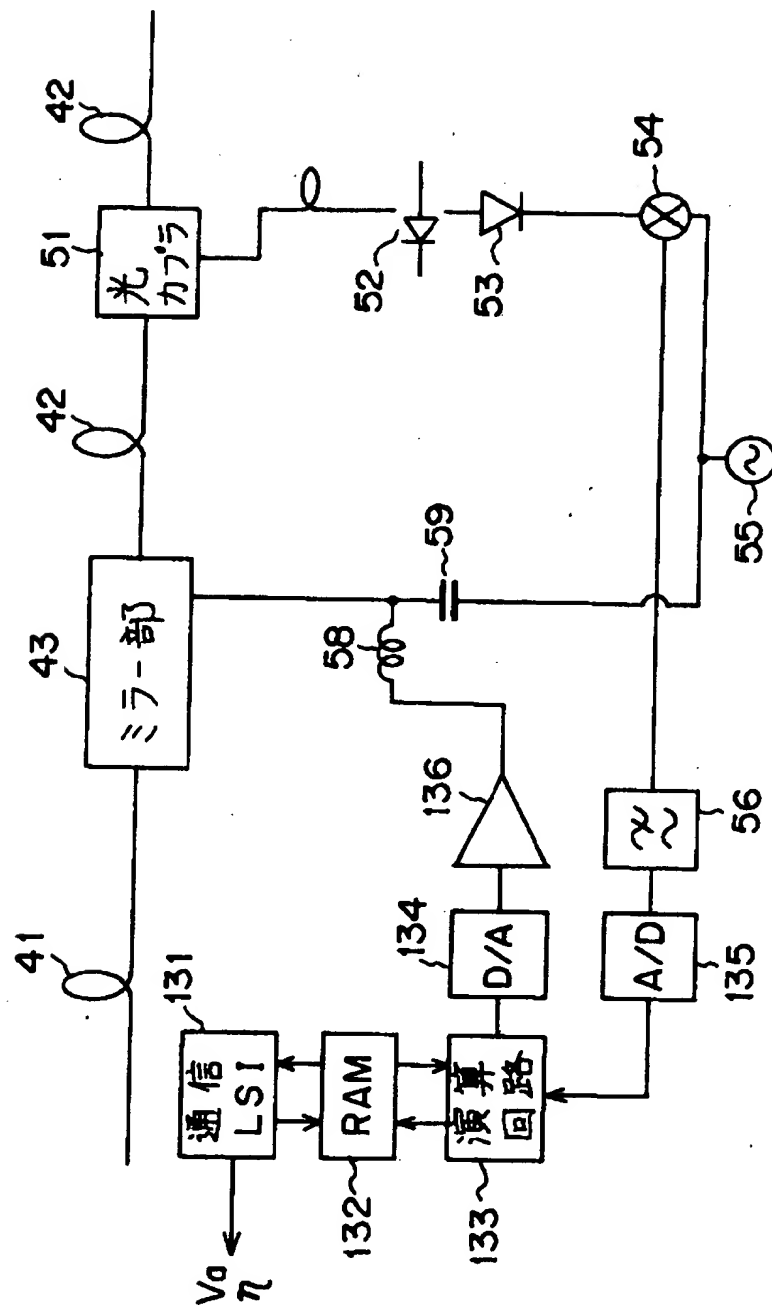
【図10】

第4の光スイッチの構成図



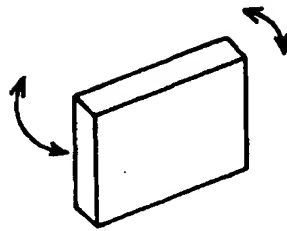
【図 11】

第4の光スイッチの回路図



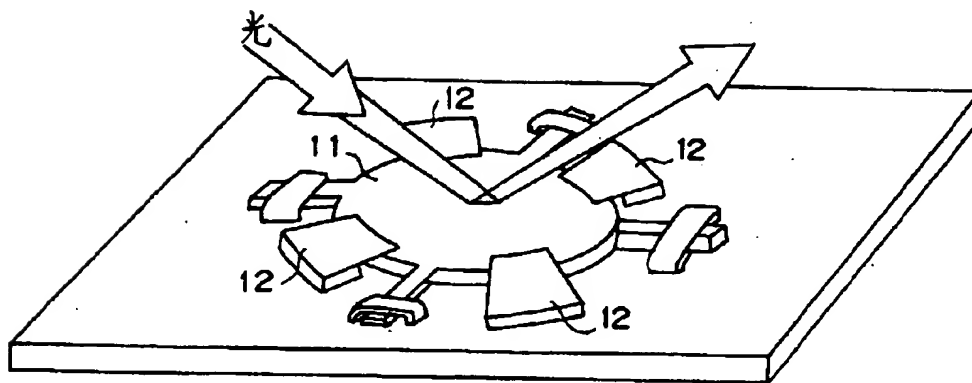
【図 1 2】

ミラーの共振振動を示す図



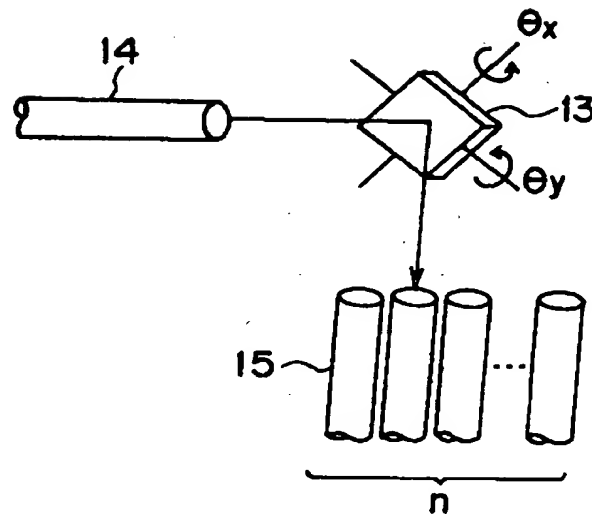
【図 1 3】

微小ミラーを示す図



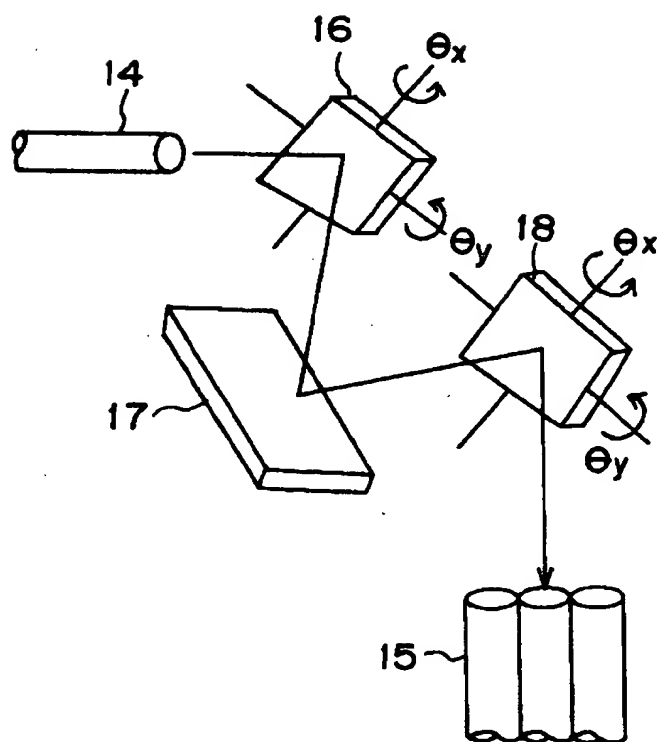
【図 1 4】

1 段 型 ミ ラ - 構 成 を 示 す 図



【図15】

2段型ミラー構成を示す図





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 フォトニックネットワークを構成するノード装置において、光MEMSスイッチの光結合特性の劣化を補償することが課題である。

【解決手段】 低周波重畳回路45は、ドライバ回路46からの印加電圧に、低周波発振回路48からの低周波信号を重畳して、ミラー部43に印加する。低周波検出部44は、ミラーにより反射された出力光から低周波成分を検出し、制御回路47は、検出された低周波成分と低周波発振回路48の出力信号を用いて、ドライバ回路46の出力電圧を制御する。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社